

ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG BERDASARKAN PENGUJIAN SPT DAN *CYCLIC LOAD TEST*

oleh :

Eko Yuliawan

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta

Email : ekoyuliawan970@yahoo.co.id

Tanjung Rahayu

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta

Email : tanjungrahayu@yahoo.com

Abstrak: Pondasi merupakan bagian dari struktur bawah yang berperan penting dalam memikul beban struktur atas. Beban tersebut akan diteruskan pada tanah yang berada di bawah pondasi. Daya dukung tanah di bawah pondasi harus dapat menahan beban struktur tersebut. Apabila tanah tidak mampu memikul beban pondasi atau memiliki daya dukung yang kecil, maka penurunan yang berlebihan atau keruntuhan dari tanah akan terjadi. Kedua hal tersebut akan menyebabkan kerusakan struktur yang berada di atas pondasi. Daya dukung pondasi dalam dan besarnya penurunan pondasi dapat dihitung berdasarkan data tanah dari pengujian laboratorium atau pengujian di lapangan. Penelitian ini dilakukan berdasarkan beberapa pengujian di lapangan. pengujian lapangan yang dilakukan adalah penetrasi standar (SPT) dan pembebanan siklik (*cyclic load test*) pada tiang bor. Data N-SPT akan dikorelasikan dengan sifat fisis dan mekanis tanah. Daya dukung dan penurunan pondasi dalam dapat dihitung dengan metode Meyerhof, Resse dan White, serta interpretasi data pembebanan siklik dengan metode Davisson dan Chin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya dukung ultimit tiang bor yang dihitung berdasarkan data N-SPT dengan metode Meyerhof sebesar 423,11 ton dan metode Resse-Wright sebesar 431,906 ton, sedangkan berdasarkan korelasi N-SPT dengan metode Resse-Wright sebesar 379,86 ton. Daya dukung ultimit berdasarkan pengujian *cyclic load test* adalah 430 ton, interpretasi data pengujian dengan metode Davisson sebesar 281,69 ton, dan metode Chin sebesar 499 ton. Penurunan terbesar berdasarkan data pengujian pembebanan siklik lebih besar daripada metode Vesic.

Kata kunci: Pondasi tiang, pengujian SPT, *cyclic load test*, daya dukung tiang, penurunan

Abstract: The foundation is a part of the bottom structure that an important role in bearing the burden of the upper structure. The load will be forwarded to the soil below the foundation. Soil bearing capacity of under foundation must be able to withstand the load of the structure. If the soil is unable to bearing the foundation load or has a small bearing capacity, an excessive reduction or collapse of the soil will occur. Both of these will cause damage to the structure above the foundation. Bearing capacity of the deep foundation and the magnitude of the reduction of the foundation can be calculated based on soil data from laboratory testing or testing in the field. This research was conducted based on several tests in the field. Field testing carried out is standard penetration (SPT) and cyclic load test on a drill pole. N-SPT data will be correlated with physical and mechanical properties of the soil. The bearing capacity and reduction of deep foundation can be calculated by the Meyerhof, Resse and White methods, as well as the interpretation of cyclic loading data with the Davisson and Chin methods. The results showed that the ultimate bearing capacity of the drill pole was calculated based on N-SPT data with the Meyerhof method of 423.11 tons and the Resse-Wright method of 431.906 tons, while based on the correlation of N-SPT with the Resse-Wright method of 379.86 tons. The ultimate bearing capacity based on cyclic load test is 430 tons, the interpretation of the test data

with Davisson method is 281.69 tons, and the Chin method is 499 tons. The biggest decrease based on cyclic loading test data is greater than the Vesic method.

Keywords: Pile Foundation, SPT test, cyclic load test, pile bearing capacity, reduction

Pendahuluan

Bangunan teknik sipil secara umum meliputi dua bagian umum yaitu struktur bawah (*sub structure*) dan struktur atas (*upper structure*). Pondasi termasuk pada struktur bawah dan merupakan pendukung utama sebuah struktur. Pondasi sebagai dasar bangunan harus dapat memikul seluruh beban bangunan dan beban lainnya yang turut diperhitungkan serta meneruskannya ke dalam tanah di bawahnya. Apabila tanah tidak mampu memikul beban pondasi atau memiliki daya dukung yang kecil, maka penurunan yang berlebihan atau keruntuhan dari tanah akan terjadi. Kedua hal tersebut akan menyebabkan kerusakan struktur yang berada di atas pondasi tadi. Dalam perencanaan pondasi sangatlah penting menganalisis daya dukung pondasi dan penurunan pondasi. Secara umum, pondasi dikelompokkan pada pondasi dangkal dan pondasi dalam.

Daya Dukung Pondasi

Daya dukung (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah di bawah dan sekitar pondasi untuk menahan beban yang bekerja dari struktur di atasnya.

Daya dukung pondasi dalam dan besarnya penurunan pondasi dapat dihitung berdasarkan data tanah dari pengujian laboratorium atau pengujian di lapangan. Pengujian tanah di laboratorium dilakukan untuk memperoleh nilai sifat fisis (*index properties*) dan sifat mekanis (*engineering properties*) tanah. Pengujian di lapangan yang sering dilakukan untuk mengetahui besarnya daya dukung tanah adalah

pengujian pembebanan (*loading test*). Berdasarkan pengujian pembebanan tersebut, besarnya daya dukung ultimit dan penurunan dapat diperkirakan. Pengujian lapangan lain yang dapat digunakan untuk mencari daya dukung tanah adalah pengujian SPT. Terdapat beberapa grafik yang dapat digunakan untuk menentukan parameter tanah yang harus dicari melalui pengujian laboratorium.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan beberapa pengujian di lapangan. Data pengujian lapangan yang digunakan adalah N-SPT dan pembebanan siklik (*cyclic loading test*) pada tiang bor. Data N-SPT akan dikorelasikan dengan sifat fisis dan mekanis tanah. Daya dukung dan penurunan pondasi dalam dapat dihitung dengan metode Meyerhof, Resse dan White, serta interpretasi data pembebanan siklik dengan metode Davisson dan Chin.

Metode Meyerhof

$$Q_u = 1/3 \cdot 40 \cdot N_b' \cdot A_b + 0,2 \tilde{N}' \cdot t \cdot k$$

Dimana:

A_b = luas penampang *bored pile*

k = keliling tiang

\tilde{N}' = nilai rata-rata N_{SPT} terkoreksi sepanjang tiang

N_b' = Nilai N-SPT terkoreksi bawah tiang

t = tebal lapisan tanah

Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit

Q_b = daya dukung ujung tiang

Q_s = daya dukung selimut tiang

Metode Resse dan Wright

$$Q_u = Q_b + Q_s$$

Tanah kohesif

$$Q_b = N_c \cdot C_u \cdot A_b$$

$$C_u = 2/3 \cdot 10 \cdot N\text{-SPT}$$

$$Q_s = f \cdot t \cdot k$$

$$f = \alpha \cdot C_u$$

Tanah non kohesif

$$Q_b = q_b \cdot A_b$$

Untuk $N \leq 60$ maka $q_b = 7N'$

Untuk $N \geq 60$ maka $q_b = 400$

$$Q_s = q_s \cdot t \cdot k$$

Untuk $N \text{ SPT} > 53$, maka $q_s = (1,60/53) = 0,0302 \cdot N$

Untuk $53 < N \text{ SPT} \leq 100$, maka $q_s = \{(N/450) + 1,60 \cdot N\}$

Dimana:

Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit

Q_b = daya dukung ujung tiang

Q_s = daya dukung selimut tiang

C_u = *undrained cohesion*

N_c = Faktor daya dukung tanah, untuk pondasi *bored pile*

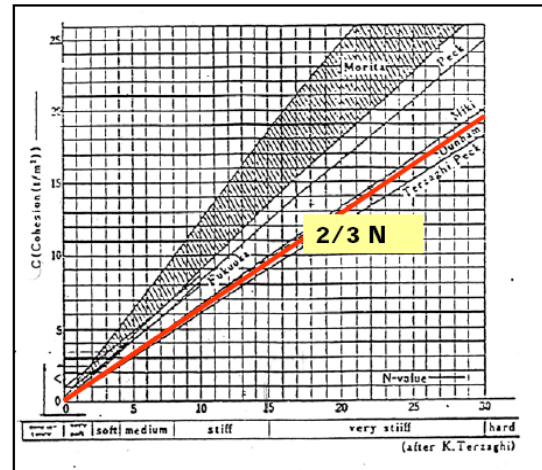
= 9 (Whitaker and Cooke, 1966)

α = faktor *adhesi* = 0,55 (Reese dan Wright)

f = faktor reduksi selimut tiang

q_b = tahanan ujung tiang

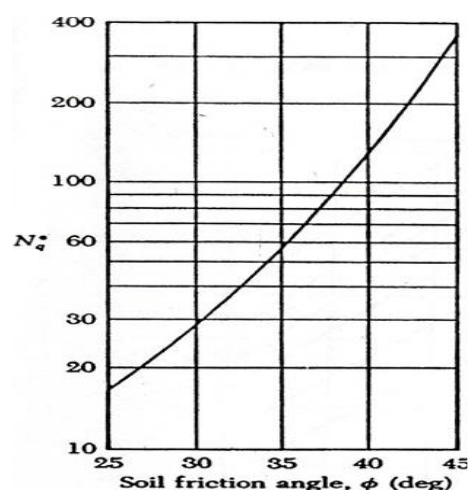
q_s = tahanan selimut tiang



Gambar 1. Kurva korelasi nilai N-SPT dengan kohesi tanah (Terzaghi)

Tabel 1. Korelasi nilai N-SPT dengan kuat tekan bebas (q_u) untuk tanah lempung jenuh (Terzaghi dan Peck, 1948)

Nilai N	Konsistensi	Kuat tekan bebas (q_u) (kN/m^2)
< 2	Sangat lunak	< 25
2 - 4	Lunak	25 - 50
4 - 8	Sedang	50 - 100
8 - 15	Kaku	100 - 200
15 - 30	Sangat kaku	200 - 400
> 30	Keras	> 400



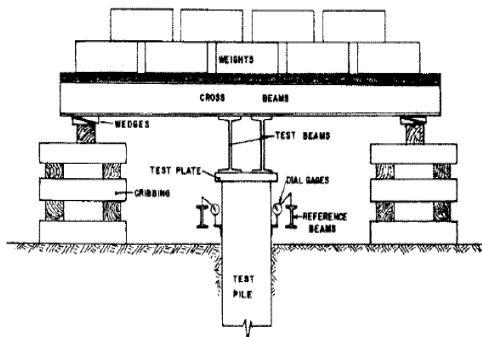
Gambar 2. Grafik hubungan antara sudut gesek dalam dan faktor daya dukung tanah (Vesic, 1967)

Uji Pembebanan Siklik (*Cyclic Loading Test*)

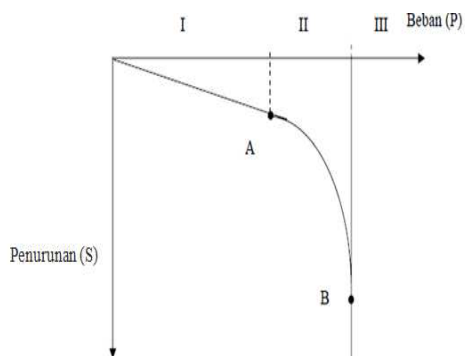
Uji pembebanan pada tiang dilakukan bertahap dan dilaksanakan sampai beban yang diberikan mencapai beban rencana atau yang ditentukan. Pada tiap tahap pembebanan, beban ditahan konstan sampai penurunan berhenti. Setelah itu, baru diterapkan beban selanjutnya. Tahapan beban yang diberikan mulai dari 25 %, 50 %, 100 %, 150 %, dan 200 % dari beban rencana.

Prosedur pemberian beban tiap siklus adalah:

- Siklus 1 : 0 %, 25 %, 50 %, 25 %, 0 %
- Siklus 2 : 0 %, 50 %, 75 %, 100 %, 75 %, 50 %, 0 %
- Siklus 3 : 0 %, 50 %, 100 %, 125 %, 150 %, 125 %, 100 %, 50 %, 0 %
- Siklus 4 : 0 %, 50 %, 100 %, 150 %, 175 %, 200 %, 150 %, 100 %, 50 %, 0 %



Gambar 3. Pengujian pembebanan



Gambar 4. Kurva hubungan beban dan penurunan

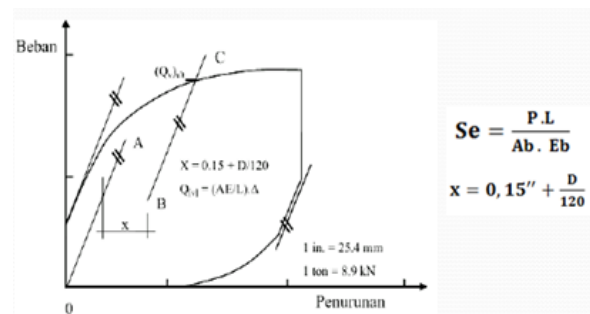
Interpretasi Hasil Uji Pembebanan Siklik (*Cyclic Loading Test*)

Daya dukung ultimit dan besarnya penurunan tiang dapat diketahui dengan melakukan interpretasi mengikuti beberapa metode, seperti:

1. Metode Davisson

Prosedur penentuan beban ultimit dilakukan dengan tahap berikut:

- a. Memplot kurva hubungan antara beban dan penurunan berdasarkan pengujian pembebanan
- b. Membuat kurva pendekatan untuk penurunan maksimum pada setiap siklus pembebanan
- c. Menghitung penurunan elastis pada beban rencana
- d. Menarik garis OA berdasarkan persamaan penurunan elastis
- e. Menarik garis BC yang sejajar dengan OA dengan jarak X
- f. Menentukan beban ultimit berdasarkan perpotongan garis BC dengan kurva beban-penurunan



Gambar 5. Kurva hubungan antara beban dan penurunan metode Davisson

Dimana :

- Ab = luas penampang tiang
- D = diameter tiang
- Eb = modulus elastisitas dari tiang
- L = panjang tiang
- P = beban yang diterapkan
- Se = penurunan elastis tiang
- x = garis sejajar elastis

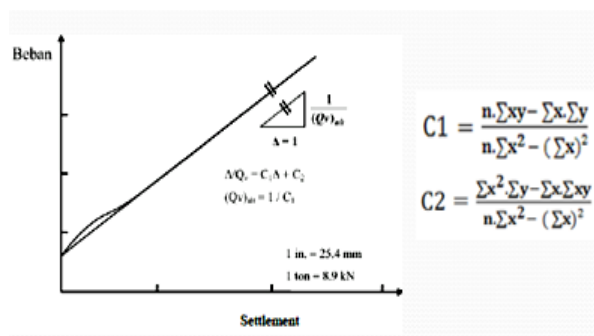
2. Metode Chin F.K

Metode Chin menganggap bahwa grafik hubungan antara beban dan penurunan berbentuk hiperbola. Meskipun pengujian belum dilakukan hingga batas beban ultimit, dengan anggapan grafik tersebut, maka beban ultimit dapat ditentukan.

Prosedur penentuan beban ultimit dilakukan dengan tahap berikut:

- Memplot kurva hubungan antara beban dan penurunan berdasarkan pengujian pembebanan
- Menarik garis regresi terhadap data yang ada sehingga terbentuk persamaan

Grafik digambarkan dengan beban (Q) pada sumbu vertikal dan penurunan (S) pada sumbu horizontal. $Q_u = 1/C_1$



Gambar 6. Grafik hubungan beban dan penurunan metode Chin

Penurunan Tiang dengan Metode Vesic

$$s = \frac{D}{100} + \frac{Q \cdot L}{A_b \cdot E_b}$$

Dimana:

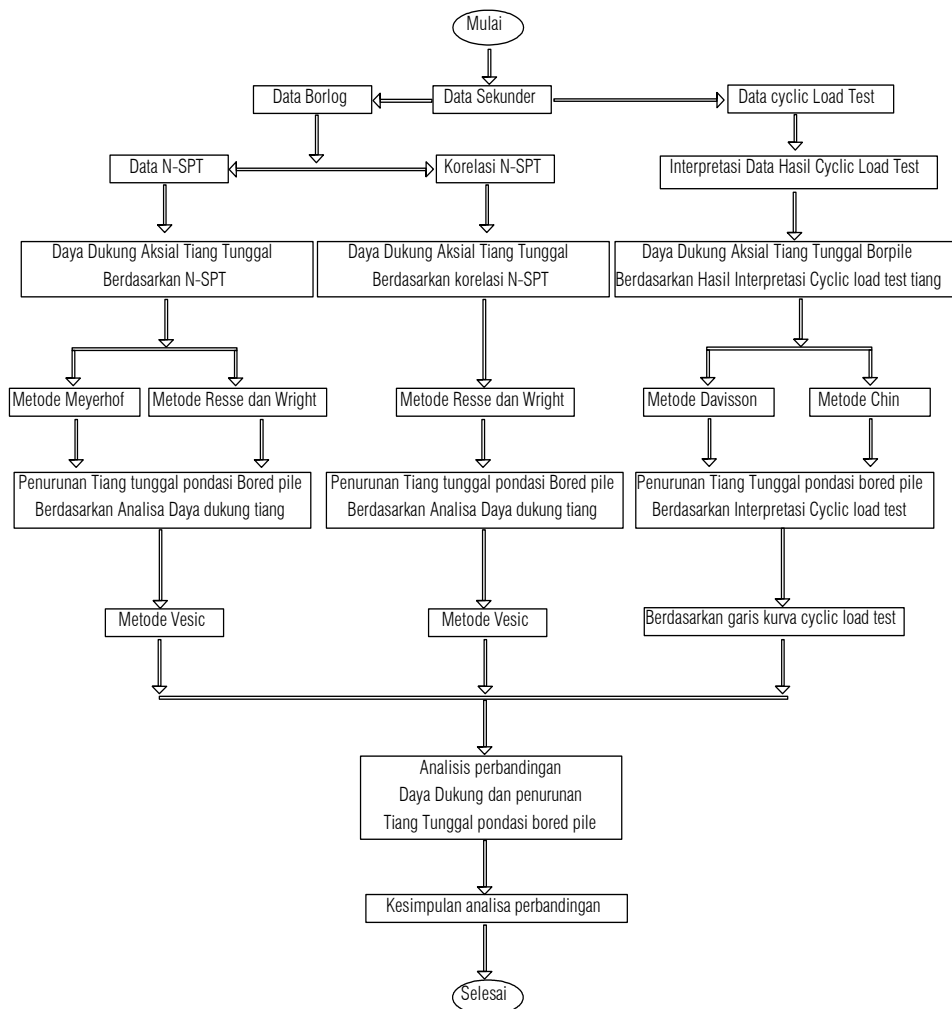
- A_b = luas penampang tiang
 D = diameter tiang
 E_b = modulus elastisitas tiang
 L = panjang tiang yang tertanam
 Q = beban kerja tiang
 S = penurunan total kepala tiang

Tabel 2. Batasan penurunan pondasi yang diizinkan

No.	Jenis Bangunan	Penurunan Maksimum (cm)
1.	Bangunan umum	2,54
2.	Bangunan pabrik	3,81
3.	Gudang	5,08
4.	Pondasi mesin	0,05

Sumber: W.C. Teng

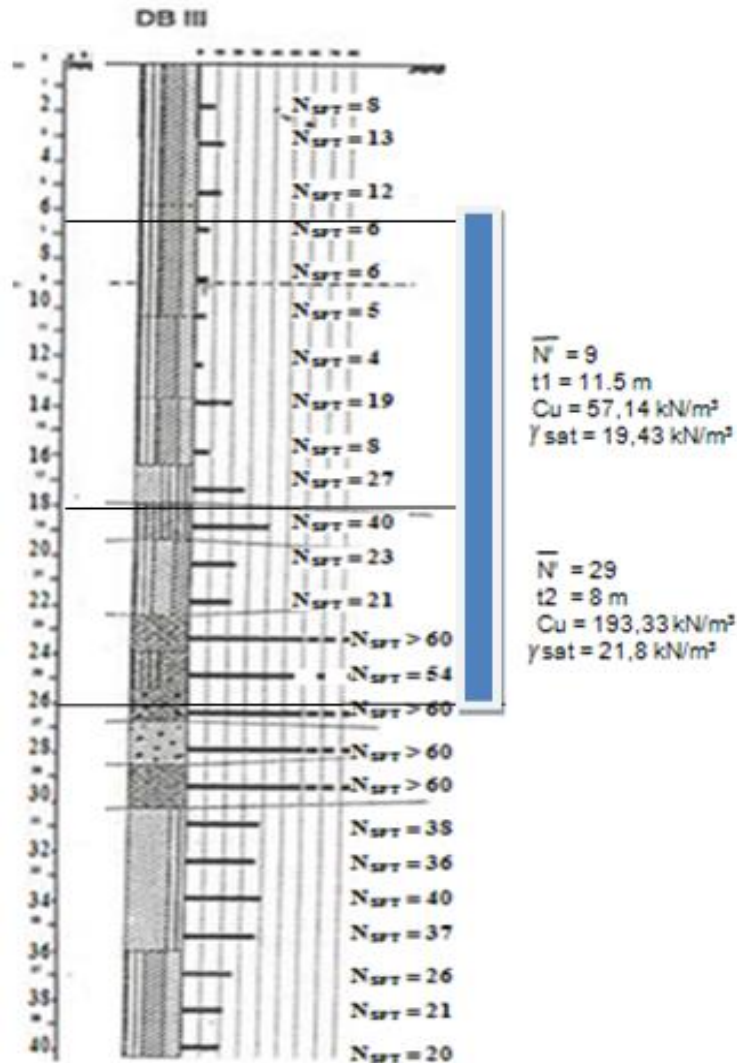
Diagram Alur Penelitian



Gambar 7. Diagram alur penelitian

Penelitian dilakukan terhadap pondasi tiang bor berdiameter 0,8 cm dengan mutu beton K-250 (f'_c 20,75 Mpa). Panjang tiang dimulai dari kedalaman 6,5 m karena adanya ruangan basemen di atasnya. Berdasarkan pengujian SPT, daya dukung

dihitung dengan metode Meyerhof dan Resse-Wright, sedangkan penurunan dengan metode Vesic. Berdasarkan pengujian pembebanan siklik, daya dukung dan penurunan diinterpretasikan dengan metode Davisson dan Chin.



Gambar 8. Data boring log 3

Hasil Dan Pembahasan

Berdasarkan gambar 8, ada galian tanah sedalam 6,5 m digunakan untuk basemen

maka perhitungan daya dukung pondasi *bored pile* dihitung dari elevasi basemen.

Tabel 3. Nilai N-SPT terkoreksi pada DB3

NO	Ke dalam tanah (m)	Tebal lapisan tanah t (m)	jenis tanah	N-SPT lapangan	N' 1	N' 2	N' 3	N' 4	N' 5	N' 6	N' 7	N'
1	6.5 - 18	11.5	kohesif	6,6,5,4,19,5,27	6	6	5	4	17	5	21	9
2	18 - 26	8	kohesif	40,23,21,60,54,60	28	19	18	38	35	38		29

Perhitungan daya dukung tiang pada dengan metode :

1. Metode Meyerhof (1956)

Perhitungan daya dukung ultimit (Q_u):

a) Daya dukung ujung tiang berdasarkan gambar 8. DB3 dengan N-SPT N=60 maka

$$N' = 15 + \frac{1}{2} (N - 15)$$

$$N'_b = 15 + \left\{ \frac{1}{2} (60 - 15) \right\} = 38$$

$$Q_b = 1/3 \cdot 40 \cdot N'_b \cdot A_b = 1/3 \cdot 40 \cdot 38 \cdot 0,5024 = 254,55 \text{ ton}$$

b) Daya dukung selimut tiang $Q_s = 0,2 \cdot N' \cdot k \cdot t$

Tabel 4. Daya dukung selimut tiang Metode Meyerhof

NO	kedalaman tanah (m)	Jenis tanah	Tebal lapisan tanah t (m)	keliling tiang bor k (m)	0,2	N'	Qs (ton)
1	6.5 - 18	kohesif	11.5	2.512	0.2	9	52.00
2	18 - 26	kohesif	8	2.512	0.2	29	116.56
Qs=Qs1+Qs2							168.56

c) Daya dukung tiang

$$Q_{ul} = Q_b + Q_s = 254,55 + 168,56 = 423,11 \text{ ton}$$

d) Daya dukung tiang yang diijinkan

$$Q_a = \frac{Q_{ul}}{SF} \quad SF = \text{Faktor aman diambil angka 2}$$

$$Q_a = \frac{423,11}{2} = 211,55 \text{ ton}$$

a) Daya dukung ujung tiang

berdasarkan gambar 8. DB3 dengan N-SPT N=60 maka $N' = 15 + \frac{1}{2} (N - 15)$

$$N' = 15 + \frac{1}{2} (60 - 15) = 38$$

$$C_u = \frac{2}{3} \cdot N' \cdot \text{SPT} \cdot 10 = \frac{2}{3} \cdot 38 \cdot 10 = 253.33 \text{ KPa} = 25,83 \text{ ton/m}^2$$

$$N_c = 9$$

$$Q_b = N_c \cdot C_u \cdot A_b = 9 \cdot 25,83 \cdot 0,5024 = 116,8 \text{ ton}$$

2. Metode Resse dan Wright (1977)

Perhitungan daya dukung ultimit (Q_u):

b) Daya dukung selimut tiang $Q_s = f \cdot k \cdot t$

Tabel 5. Daya dukung selimut tiang Metode Resse dan Wright

NO	kedalaman tanah (m)	Tebal lapisan tanah t (m)	jenis tanah	\bar{N}'	α	C_u (kN/m ²)	$f = \alpha \cdot c_u$	k (m)	QS (ton)
1	6,5 - 17	11.5	kohesif	9	0.55	60	33	2.512	97.208
2	17 - 26	8	kohesif	29	0.55	193.33	106.33	2.512	217.897
QS = Qs1+Qs2									315.106

c) daya dukung tiang

$$Q_{ul} = Q_b + Q_s = 116,80 + 315,106 = 431,906 \text{ ton}$$

d) Daya dukung tiang yang diijinkan

$$Q_a = \frac{Q_{ul}}{SF} \quad SF = \text{Faktor aman diambil angka 2}$$

$$Q_a = \frac{431,906}{2} = 215,95 \text{ ton}$$

3. Metode Resse -Wright berdasarkan korelasi data N-SPT

Perhitungan daya dukung ultimit (Q_u):

a) Daya dukung ujung tiang (Q_b)

$$C_u = 193,33 \text{ kpa} = 19,68 \text{ ton/m}^2$$

$$N_c = 9$$

$$Q_b = N_c \cdot C_u \cdot A_b = 9 \cdot 19,68 \cdot 0,5024 = 88,98 \text{ ton}$$

b) Daya dukung selimut tiang (Q_s)

Tabel 6. Daya dukung selimut korelasi

No	kedalaman tanah (m)	Tebal lapisan tanah t (m)	jenis tanah	\bar{N}'	α	C_u (kN/m ²)	$f = \alpha \cdot c_u$	k (m)	QS (ton)
1	6.5 - 18	11.5	kohesif	9	0.55	57.14	31.43	2.512	92.575
2	18 -26	8	kohesif	29	0.55	193.33	106.33	2.512	217.893
QS = Qs1+Qs2									310.468

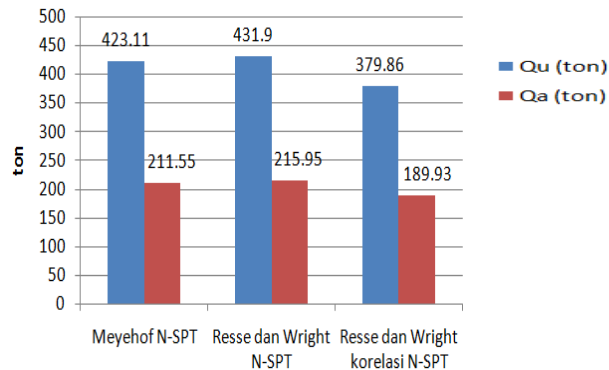
c) Daya dukung tiang

$$Q_u = Q_b + Q_s = 88,98 + 290,87 = 379,86 \text{ ton}$$

d) Daya dukung tiang yang diijinkan

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \quad SF = \text{Faktor aman diambil angka 2}$$

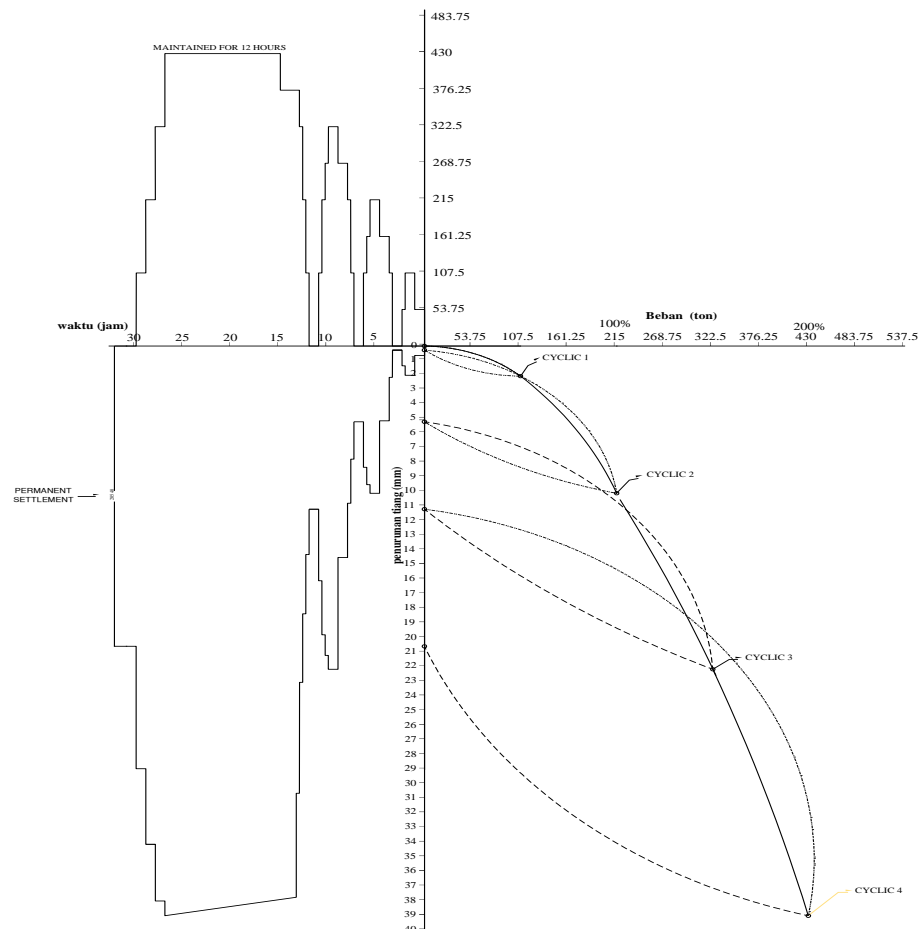
$$Q_a = \frac{379,86}{2} = 189,93 \text{ ton}$$



Berdasarkan diagram pada *boring log* 3, diketahui bahwa daya dukung ijin (Q_a) terbesar diperoleh melalui perhitungan Resse-Wright berdasarkan data N-SPT. Untuk itu, beban rencana yang diberikan pada pengujian pembebanan mendekati beban pada perhitungan daya dukung di atas, yaitu sebesar 215 ton sebagai beban rencana dan 430 ton sebagai beban ultimit. Beban kerja terbesar yang didukung oleh tiang (diperoleh melalui perhitungan ETABS sebelumnya) adalah 115, 75 ton.

Gambar 9. Daya dukung tiang di *boring log*

3



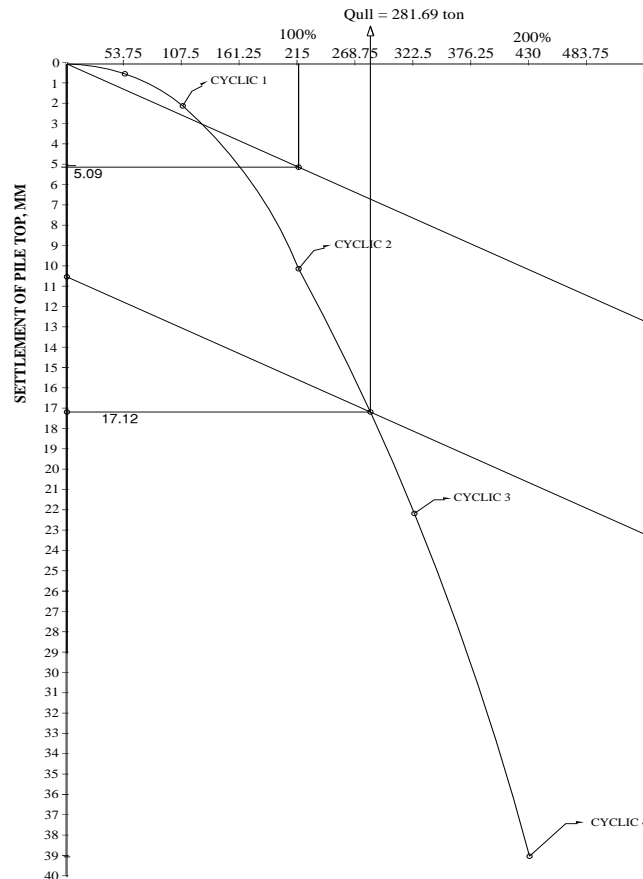
Gambar 10. Kurva hubungan beban dan penurunan pada pengujian cyclic load test

Tabel 7. Rekapitulasi hasil uji beban Cyclic load test

No	siklus	Rencana beban (%)	beban (ton)	penurunan S (mm)
1	cyclic 1	0	0	0,00
		25	53,75	0,65
		50	107,5	2,06
		25	53,75	1,36
2	cyclic 2	0	0	0,29
		50	107,5	2,14
		75	161,25	5,11
		100	215	10,07
		75	161,25	9,49
		50	107,5	8,30
3	cyclic 3	0	0	5,18
		50	161,25	7,75
		100	215	10,76
		125	268,75	14,46
		150	322,5	22,12
		125	268,75	21,16
		100	215	19,92
4	cyclic 4	50	107,5	16,06
		0	0	11,16
		50	107,5	14,27
		100	215	18,31
		150	322,5	22,86
		175	376,25	30,59
		200	430	38,97
		150	322,5	37,97
		100	215	34,07
		50	107,5	28,91
		0	0	20,54

Dari hasil *cyclic load test*, diketahui bahwa untuk beban ultimit ($Q_{ultimit}$) yang diberikan sebesar 430 ton akan menyebabkan penurunan pondasi tiang (S) sebesar 38,97 mm. Berdasarkan tabel 2, penurunan ini melebihi batas penurunan yang diizinkan untuk bangunan gedung umum sebesar 25,4 m. Pemberian beban ijin sebesar 215 ton menyebabkan penurunan sebesar 10,07 mm, dimana tidak melebihi batas penurunan yang diizinkan.

Interpretasi data pengujian pembebanan dengan metode Davisson untuk tiang berdiameter 0,8 m dengan mutu beton (f'_c) 20,75 Mpa pada beban rencana sebesar 215 ton, memperoleh nilai penurunan elastis (S_e) sebesar 5,09 mm. Untuk menentukan beban ultimit, nilai X berdasarkan diameter tiang adalah 10,476 mm. Setelah diplot pada kurva hubungan antara beban dan penurunan, diperoleh beban ultimit sebesar 281,89 ton dengan penurunan sebesar 17,12 mm (gambar 11).



Gambar 11. Kurva hubungan beban dan penurunan dengan cara interpretasi metode Davisson

Interpretasi dengan metode Chin dilakukan pada pemberian beban bertahap mulai dari 25 % hingga 200 % dari beban rencana. Beban rencana yang digunakan adalah 215 ton.

Tabel 8. Hubungan beban dan penurunan metode Chin

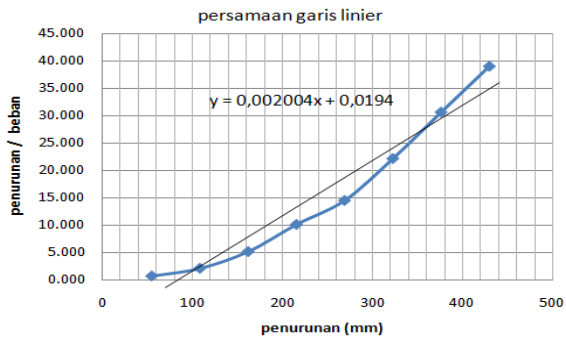
No	Rencana beban	beban P (ton)	penurunan S (mm) X	S/P Y	x ²	x.y
1	0	0	0.000	0	0	0
2	25	53.75	0.650	0.012093	0.423	0.008
3	50	107.5	2.060	0.019163	4.244	0.039
4	75	161.25	5.110	0.031690	26.112	0.162
5	100	215	10.070	0.046837	101.405	0.472
6	125	268.75	14.460	0.053805	209.092	0.778
7	150	322.5	22.110	0.068558	488.852	1.516
8	175	376.25	30.590	0.081302	935.748	2.487
9	200	430	38.970	0.090628	1518.661	3.532
		Σ	124.020	0.404076	3284.536	8.994
		(Σx)²	15,380.960			

$$C1 = \frac{n \cdot \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$C1 = \frac{[(8 \cdot 8.994) - (124.020 \cdot 0.404076)]}{[(8 \cdot 3284.536) - 15380.960]} = 0,002004$$

$$C2 = \frac{\sum x^2 \cdot \sum y - \sum x \cdot \sum xy}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

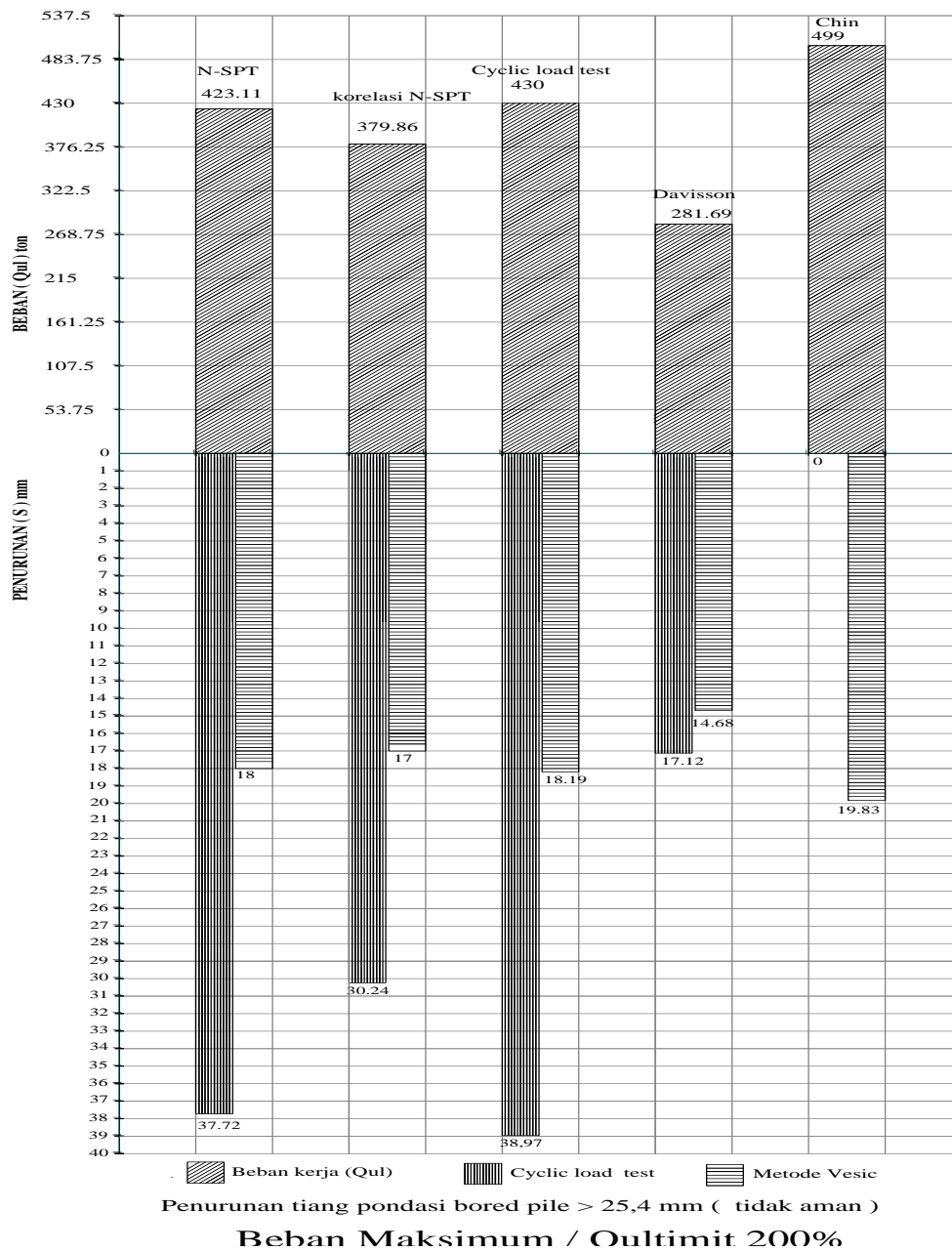
$$C2 = \frac{[(3284.536 \cdot 0.404076) - (124.020 \cdot 8.994)]}{[(8 \cdot 3284.536) - 15380.960]} = 0,0194$$



Nilai $Q_u = 1 / C_1 = 1 / 0,002004 = 499 \text{ ton}$

Jika nilai Q_u sebesar 499 ton diplot pada gambar 11, maka nilai penurunan tidak dapat direpresentasikan karena nilai maksimum pada pengujian pembebanan adalah 430 ton.

Gambar 12. Persamaan regresi dengan metode Chin



Gambar 13. Perbandingan daya dukung ultimit dan penurunan

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya dukung ultimit terbesar berdasarkan pengujian SPT diperoleh melalui perhitungan dengan metode Meyerhof, diikuti oleh metode Resse-Wright.
2. Daya dukung ultimit terbesar berdasarkan pengujian pembebanan siklik diperoleh melalui metode Chin (interpretasi data), diikuti oleh data lapangan pengujian pembebanan siklik dan metode Davisson (interpretasi data).
3. Penurunan terbesar berdasarkan data pengujian pembebanan siklik lebih besar daripada metode Vesic
4. Metode Chin tidak dapat mereprestasikan Qultimit karena melebihi beban maksimum pada pengujian siklik (*cyclic load test*) sehingga penurunan tidak dapat diinterpretasikan.

Daftar Putaka

Arifin, Zainul. 2007. "Komparasi Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal Dihitung dengan Beberapa Metode. ASTM D1143-81 Standard Test Method for Piles under Static Axial Compressive Load. 1994. *Annual Book of ASTM standards (American Society for Testing and Material, 100 Bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428)*, Unites States.

Bowles, Joseph .1982. *Foundation Analysis and Design*. McGraw Hill International Book Company

Bowles, J. E., 1982, *Foundation Analysis and Design*, Terjemahan oleh Pantur Silaban. Jilid I, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Bowles, J. E., 1984, *Foundation Analysis and Design*, Terjemahan oleh Pantur Silaban. Jilid II, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Chin Y.K., Tan S.L. and Tan S.B. (1985). "Ultimate Load Tests on Instrumented Bored Piles in Singapore Old Alluvium". *Eight Southeast Asian Geotechnical Conference*, Kuala Lumpur.

Coduto, D. P. 1994. *Foundation Design Principles and Practices*, Prentice Hall International, Inc, New Jersey.

Darjanto, H., 1996-1997, "*Final Report Loading Testing for PMI Pile in Surabaya Barat*," Surabaya.

Das, Braja M., 1985, *Principle of Geotechnical Engineering*, Terjemahan oleh Noor Endah & Indra Surya Mochtar. Jilid I, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Davisson, M.T. 1972. *High Capacity Piles*, In *Innovations in Foundation Construction*, Soil Mechanics Division, Illinois, ASCE, Chicago, USA, pp.81-112.

Hary Christiady Hardiyatmo. 2011. "Analisis dan Perancangan Fondasi Edisi Kedua". Gadjah Mada University Yogyakarta.

Meyerhof GG. "Bearing capacity and settlement of pile foundations". *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. ASCE, vol. 102, Iss. GT3, pp.196-228.

Prakash, Shamser. 1989. *Pile Foundation in Engineering Practice*. Wiley Interscience Publication.

PT. Acset Indonesia. 2011, Laporan Static Axial Compressive Load Test. Proyek Medan Focal Poin. Medan.

Raharjo, Paulus P., 2005. *Manual Pondasi Tiang Edisi 3*, GEC-Geotechnical Engineering Centre. Bandung.

Reese, L.C & Wright, S.J., 1977. *Drilled Shaft Design and Construction Guideliness Manual*.

Sidji, DS et al, 1988, "Diskusi Beberapa Cara Untuk Menentukan Beban Batas Tiang.